(Aus dem physiologischen Laboratorium der Ohrenklinik
der Königlichen Charité in Berlin.)

Lane Medical Library

Über die Wahrnehmung der Schallrichtung.

Inaugural-Dissertation

welche

zur Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin und Chirurgie

mit Zustimmung

der medizinischen Fakultät

der

Friedrich Wilhelms-Universität zu Berlin

am 4. August 1908

nebst den angefügten Thesen

öffentlich verteidigen wird

der Verfasser

KURT MÜNNICH,

approbierter Arzt aus Berlin, Oberarzt im 3. Garde-Feldartillerie-Regiment.

Opponenten:

Herr Stabsarzt Dr. Saar,
Herr Oberarzt Dr. Viereck,
Herr Oberarzt Dr. Köhler.

BERLIN 1908.
VERLAG VON S. KARGER
KARLSTRASSE 15.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Berlin.

Referent: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. *Passow*.

Sonderabdruck aus Passow's und Schaefer's Beiträgen z. Anat., Physiol., Pathol. u. Therapie d. Ohres, d. Nase u. d. Halses. Bd. II. Heft 1.

Meinem unvergesslichen Vater.

Während durch die Untersuchungen von *Helmholtz*, *Hering* und Anderen die Vorgänge der Lokalisation im Sehraum fast vollkommen geklärt worden sind, ist dies hinsichtlich der Schallokalisation noch nicht der Fall. Über die Erkennung der Schallrichtung sind bis in die neuere Zeit hinein zahlreiche Theorien aufgestellt, die die verschiedensten Teile des Gehörorgans zur Erklärung in Anspruch nehmen. Gibt es nun überhaupt ein besonderes Organ, das dem Zwecke der Schallokalisation dient? Der Beantwortung dieser Frage sei die folgende Untersuchung gewidmet.

Töne und Geräusche, die das Ohr treffen, können auf zweierlei Wegen zu dem perzipierenden Endapparat gelangen, auf dem Wege der Luftleitung, der aero-tympanalen, oder auf dem Wege der Knochenleitung, der osteo-tympanalen Leitung. Die osteo-tympanale steht bekanntlich hinter der aero-tympanalen zurück und kommt hauptsächlich bei der Perzeption der hohen Töne in Betracht. Das erste Organ, das die von aussen kommenden Schallwellen treffen, ist das äussere Ohr, über dessen funktionelle Bedeutung die verschiedensten Ansichten geherrscht haben. Die Wichtigkeit des äusseren Ohres ist von den älteren Autoren entschieden überschätzt worden. So sollte nach ihrer Ansicht die Ohrmuschel eine doppelte Bedeutung haben: Schallverstärkung und Schallokalisation.

J. Müller (22), *Kessel* (14) und *Schneider* (36) halten die Erhabenheiten und Vertiefungen der Ohrmuschel besonders dafür geeignet, um als Reflektor für die auftreffenden Schallwellen zu dienen; hierbei sollen Durchkreuzungen der einzelnen Wellen entstehen, die Verstärkungen des Tones durch Aufeinanderfallen von Wellenbergen und Tälern herbeiführen. Modelliert man sich, wie *Esser* (9) es getan, ein Wachsohr, so kann man aus der Kon-

struktion auffallender und unter gleichem Winkel reflektierter Linien ersehen, dass, nach einfacher oder meist mehrfacher Reflexion, die meisten dieser Linien nicht in den äusseren Gehörgang fallen. *Kessel* suchte den Einfluss der Ohrmuschel auf die Hörfähigkeit durch Vorbeiführen einer tönenden Stimmgabel vor dem durch den Finger verschlossenen Gehörgang nachzuweisen. Es ergab sich nämlich, dass der Abstand, in dem die Stimmgabel noch vernommen wurde, in der Gehörgangsachse am grössten, bei Bewegung nach vorn und hinten geringer und hinten am geringsten war. Den Unterschied der Entfernung zwischen vorn und hinten erklärt *Kessel* durch den Mangel der Reflexion der die Hinterfläche der Ohrmuschel treffenden Schallwellen. Dieser Abnahme der Entfernung liegt jedoch eine ganz andere Ursache zugrunde. Selbstverständlich wird in der Gehörgangsachse die tönende Stimmgabel in der weitesten Entfernung wahrgenommen, da sich die Gehörgangsachse im Optimum der Schallperzeption befindet, weil sämtliche Schallwellen, die den Gehörgang treffen, unbehindert zum Trommelfell gelangen. Bei den von hinten und von vorn kommenden Schallwellen wird jedoch nur ein Teil durch Beugung und Reflexion von benachbarten Gegenständen her zur Wirkung gelangen und der Schall dadurch eine Intensitätsabnahme erleiden. Bei den von hinten kommenden Schallwellen wird ausserdem noch ein Teil durch die Ohrmuschel abgeblendet und daher erklärt sich auch der Unterschied des Abstandes im Vergleich zu vorn, da dort die dämpfende Fläche der Ohrmuschel fehlt. Deshalb findet man auch bei vollkommener Ausschaltung der Ohrmuschel z. B. durch Auspolstern derselben mit Watte und nachheriger Fixierung mit einer Mullbinde an den Kopf zwischen vorn und hinten keine Entfernungsdifferenzen. Auch die Versuche von *Rogdestwensky* (32), dass nach Bedeckung der hinteren Fläche der Ohrmuschel mit Kautschuk die Fähigkeit, von hinten kommende Schalleindrücke zu perzipieren und zu lokalisieren, herabgesetzt sei, sprechen absolut nicht, wie Verfasser annimmt, für die Funktion der Ohrmuschel als Reflektor; denn die Abnahme der Perzeption ist nur auf die Herabsetzung der Schwingungsfähigkeit des Ohrknorpels zu beziehen.

Schneider (36) und *Rinne* (31) stellten nach Ausfüllen der Ohrmuschel mit einer Mischung von Wachs und Öl resp. Brotteig in der Art, dass nur eine der Weite des Gehörgangs entsprechende Öffnung frei blieb, eine merkliche Herabsetzung der Hörfähigkeit. fest. Demgegenüber steht die Beobachtung von *Harless* (12).

Er hängte am Ende eines Korridors eine Uhr auf und ermittelte dann in der Richtung der Gehörgangsachse die Entfernung, in der dieselbe eben noch gehört werden konnte. Darauf führte er in den äusseren Gehörgang ein ½ Zoll langes Glasröhrchen ein, um auf diese Weise die reflektierende Wirkung der Ohrmuschel auszuschalten. Das Ticken der Uhr wurde in der gleichen Entfernung wahrgenommen, gleichgültig, ob das Röhrchen eingeführt war oder nicht. Er folgerte daraus, dass die Ohrmuschel als Reflektor keine Wirkung auszuüben imstande ist.

Dass in der Tat von einer regelmässigen Reflexion der Schallwellen seitens der Ohrmuschel keine Rede sein kann, haben auch die Untersuchungen von *Mach* (19) ergeben. Bei einem künstlich hergestellten Modell einer Ohrmuschel in Verbindung mit äusserem Gehörgang, bei dem das Trommelfell durch Seidenpapier ersetzt wurde, wies er nach, dass an den verschiedenen Stellen des Trommelfells keine Intensitätsschwankungen bestehen, von wo auch der Schall kommen mag. Eine Reflexion des Schalles nach der Art des Lichtes käme bei der Funktion der Ohrmuschel nur dann in Frage, „wenn," wie *Mach* sagt, „die Wellenlängen des Schalles sehr oft in den Lineardimensionen der reflektierenden oder brechenden Fläche aufgehen. Die Schallwellen sind nun so gross, dass für die Ohrmuschel bei den hörbaren Tönen gerade das Gegenteil stattfindet."

Burnett (7) und andere Autoren schreiben der Ohrmuschel ausserdem die Fähigkeit zu, für die ankommenden Schallwellen als Resonator zu dienen. So sollen Helix und Fossa helicis auf tiefe, Anthelix und Fossa anthelicis auf mittlere, die Concha auf hohe Töne resonieren. Eine Vertiefung tritt angeblich ein, wenn man die Ohrmuschel leicht vorwärts drückt, infolge Verstärkung der Resonanz für tiefere Töne; wird dagegen der Helix mit dem Finger an den Kopf gedrückt, so soll eine Abnahme und Verringerung der tiefen Töne auftreten, während die höheren und mittleren Töne hervortreten. *Schaefer* (33) meint jedoch, dass es sich hierbei nur um accidentelle Verhältnisse handele, denen keine physiologische Bedeutung zuzusprechen ist. Auch *Mach* (20) fasst die Ohrmuschel als einen Resonator für höhere Töne auf, deren Wirkung zum Teil von der Stellung gegen die Schallrichtung abhänge und Klangfarbenveränderung hervorrufe, die zur Erkennung der Schallrichtung führen.

Neben der Reflexion und Resonanz soll nach *Harless*, *J. Müller* und *Schneider* der Ohrknorpel die Eigenschaft besitzen,

durch den Schall in Molekularschwingungen zu geraten und auf diese Weise denselben in den Gehörgang fortzuleiten. Bekanntlich ist der Ohrknorpel ein leidlich guter Leiter, der in Bezug auf Leitungsfähigkeit zwischen den festen und elastischen Körpern steht. So tritt auch bei Berührung der Ohrmuschel mit einer mit Membran versehenen Pfeife eine bedeutende Schallverstärkung auf.

Dass dem Ohrknorpel in Wahrheit die Fähigkeit der Schallleitung zukommt, hat in neuester Zeit *Geigel* (10) durch folgende, ganz unzweideutige Versuche dargetan. Lauscht man auf ein leises Geräusch und berührt dann die Ohrmuschel mit der Hand, so tritt eine wesentliche Verstärkung des Geräusches ein; diese Verstärkung erfolgt jedoch nicht, wenn der Rand der Hand der Ohrmuschel aufs äusserste genähert wird, sie aber nicht berührt. Es muss sich also tatsächlich um eine Leitung der von der Schallquelle ausgehenden Schallwellen handeln und nicht, wie man früher annahm, um eine Vergrösserung der reflektierenden Flächen durch Anlegen der Hand, da sonst auch bei grösster Annäherung die gleiche Wirkung eintreten müsste. Für den Grad der Schallverstärkung ist jedoch die Wahl der angelegten Handfläche nicht belanglos, denn z. B. bei Berührung der fleischigen Maus ist der Effekt lange nicht so stark, wie bei Anlegung des nur mit wenig Muskulatur umkleideten kleinen Fingers. Desgleichen ist auch der Ort und die Ausdehnung, in der die Hand die Ohrmuschel berührt, von Bedeutung: je grösser die Berührungsfläche, desto grösser die Verstärkung; während die Schalleitung am Ohrläppchen nur sehr gering ist, steigt sie an der hinteren Konvexität, dem Helix, zum Maximum an. Die Stellung der Hand, ob die Hohlhand nach vorn oder hinten gerichtet, ist gleichgültig, alles Momente, die dafür sprechen, dass es sich hierbei nicht um Reflexion, sondern um Leitungsübertragung handelt.

Auch der Winkel, unter dem die Ohrmuschel sich an den Kopf ansetzt, ist von einigen Autoren, wie *Bernstein* (3) und anderen, für nicht unwesentlich gehalten worden. So wird von *Buchanan* (6) als das Optimum eine Winkelstellung von 45° angegeben.

Ausser den an normalen Ohren angestellten Versuchen liegen zahlreiche Beobachtungen an pathologisch veränderten Ohrmuscheln von *Itard*, *Wepfer*, *Toynbee* (43) u. A. vor, die gleichfalls die geringe Bedeutung der Ohrmuschel für Hörfähigkeit und Schallokalisation beweisen. Allerdings tritt zunächst manchmal eine gewisse Unsicherheit in der Beurteilung der Schallrichtung ein, die sich jedoch bald verliert und nie von einer wesentlichen

Gehörsherabsetzung begleitet ist. Einige Autoren, wie *Gradenigo* (11), halten dagegen die Ohrmuschel für wichtig bei der Perzeption leiser Geräusche. So wurde nach *Gradenigo* das Uhrticken von einem Mann, der infolge eines Unfalles seine linke Ohrmuschel verloren hatte, auf dem gesunden Ohr 8 mal so weit wie auf dem anderen vernommen. Nach Einführung eines Ohrtrichters in das kranke Ohr trat eine wesentliche Hörverbesserung ein. Auch zur Erkennung der Schallrichtung soll die Ohrmuschel nach seiner Ansicht von Wert sein.

Die vielfach erwähnten hochgradigen Schwerhörigkeiten bei kongenitalen Ohrmuscheldefekten sind für die Funktionsfähigkeit der Ohrmuschel nicht im geringsten beweisend, da es sich hierbei fast regelmässig um eine gleichzeitige Erkrankung des inneren Ohres handelt.

Auch ich habe nun eine Reihe von Versuchen zwecks Feststellung des Einflusses der Ohrmuschel auf die H ö r f ä h i g k e i t angestellt. Bei fester Ausfüllung der Gehörgangsöffnung durch mit Wachs getränkte Watte wurden die durch die Luft geleiteten tieferen Töne stark abgeschwächt, zum Teil sogar nicht mehr vernommen. Die Wahrnehmung der hohen Töne war jedoch nur mässig herabgesetzt, und zwar desto weniger, je grösser die Schwingungszahl, da die Zuleitung dieser Töne zum Labyrinth in zunehmendem Masse überwiegend durch Knochenleitung stattfindet. Führte ich andererseits, um die angebliche Reflexionswirkung der Ohrmuschel zu beseitigen, in den Gehörgang einen Ohrentrichter ein, so liess sich keine Hördifferenz zwischen rechts und links feststellen. Ein gleiches Resultat erhält man auch nach Auspolstern der Ohrmuschel mit Watte und nachheriger Fixierung mit einer Mullbinde an den Kopf, sodass nur die Gehörgangsöffnung frei bleibt. Da bei diesem Versuch sowohl die Schallreflexion durch Auspolstern der Ohrmuschel als auch die Übertragung durch Mitschwingen des Ohrknorpels durch die Fixation der Muschel aufgehoben war, können diese beiden Faktoren auf die Hörfähigkeit keinen wesentlichen Einfluss ausüben. Allerdings bedürften diese Versuche noch der Vervollständigung, da ich nur die Hörfähigkeit für laute Geräusche, wie das cri-cri, prüfte; es wäre möglich, dass, wenn die Schallquelle leiser wird, geringe Differenzen zwischen der Hörfähigkeit beider Ohren sich ermitteln liessen.

Um ferner die Bedeutung der Ohrmuschel bei der S c h a l l l o k a l i s a t i o n zu prüfen, wandte ich folgendes Verfahren an: In den einen Gehörgang wurde ein Trichter eingeführt, worauf ich

in der Medianebene die Richtungen vo, v, vu, ho, h, hu[1]), jede 38 mal, mit zahlreichen eingefügten Vexierversuchen prüfte (Versuchsreihe A). Von einer Bestimmung der Zwischenrichtung vr, vl, hr, hl usw. sah ich ab, da selbst bei beiderseits freier Ohrmuschel diese Richtungen Täuschungen unterliegen, wie die von *Preyer* (27) und *Arnheim* (2) angestellten Versuche beweisen. Eine merkbare Verlegung des Schalles dagegen aus der Medianebene ist bei beiderseits Normalhörenden — und nur solche fanden selbstverständlich bei diesen Versuchen Verwendung — vollkommen auszuschliessen. Tritt also eine deutliche Verlegung nach rechts oder links aus der Medianebene ein, so ist diese allein auf die ausgeschaltete Ohrmuschel zu beziehen. Bei der zweiten Versuchsreihe (B) wurde die Ohrmuschel durch Auspolsterung und Fixation vollkommen ausgeschaltet und in gleicher Weise wie bei der Reihe A die Prüfung vorgenommen.

Als Schallquelle diente das bereits von *Preyer* angewandte cri-cri, das sich besonders zu diesen Versuchen eignet, da das Geräusch laut ist und erst nach sehr langem Gebrauch an Intensität sich ändert.

Die gewonnenen Resultate sind in nachstehender Tabelle niedergelegt. Die fettgedruckten Zahlen zeigen die Seite der ausgeschalteten Ohrmuschel an.

Versuchreihe A.

	Rechts	Mitte	Links
Fall 1	0 pCt.	100 pCt.	**0** pCt.
„ 2	3,5 „	96,5 „	**0** „
„ 3	0 „	100 „	**0** „
„ 4	0 „	100 „	**0** „

Versuchsreihe B.

	Rrechts	Mitte	Links
Fall 1	0 pCt.	99,2 pCt.	**0,8** pCt.
„ 2	0 „	98,3 „	**1,7** „
„ 3	0 „	100 „	**0** „
„ 4	5,3 „	94,7 „	**0** „

Aus den Resultaten ersieht man, dass bei den Versuchsreihen nur in zwei Fällen (Fall 2, Reihe A, und Fall 4, Reihe B) eine

[1]) Hier wie in folgendem bedeutet v vorn, o oben, h hinten, u unten, r rechts, l links.

geringe Verlegung nach der Seite der freien Ohrmuschel eintritt, jedoch sind so geringe Prozentzahlen gegenüber der bedeutenden Überzahl der richtigen Urteile um so bedeutungsloser, als selbstverständlich Ermüdungserscheinungen, Unaufmerksamkeit und Strukturverhältnisse des Kopfes bei solchen kleinen Fehlergrössen stets zu berücksichtigen sind. Noch bessere Resultate ergaben die Lokalisationsprüfungen mit Stimmgabeln verschiedenster Tonhöhe, da hierbei die Lokalisation durch das längere Andauern des Tones erleichtert wird.

Wenn auch der Ohrmuschel eine gewisse Fähigkeit der Schallleitung zugesprochen werden muss, so sind dennoch ihre Leistungen für die Hörfähigkeit von nur untergeordneter Bedeutung; denn alle diejenigen, die vom Verlust einer Ohrmuschel betroffen werden, treibt nur der Wunsch, aus kosmetischen Rücksichten eine Ohrmuschel zu besitzen, zum Arzt. Die Eigenschaft, als Reflektor oder Resonator zu dienen, hat jedoch die Ohrmuschel nicht. Auch bezüglich der Schallokalisation verdient die Ohrmuschel nach obigen Versuchen kaum Beachtung, da ja von einer Reflexion der Schallwellen nicht die Rede sein kann.

Beweisend dafür ist auch meine Lokalisationsprüfung bei einem Patienten mit totalem linksseitigem Ohrmuscheldefekt, bei dem nur die in regelrechter Weite ausgebildete Gehörgangsöffnung vorhanden war.

Es ergab sich dabei folgendes Resultat:

Rechts	Mitte	links
1,6 pCt.	96,7 pCt.	**1,6** pCt.

Hiernach trat also keine Verlegung nach dem gesunden Ohre hin auf, denn auf beiden Seiten sind gleiche Prozentzahlen zu verzeichnen.

Die Betrachtung der Ohrmuschel vom entwicklungsgeschichtlichen Standpunkt stellt diese gleichfalls als ein beim Hörakt untergeordnetes Organ dar.

So findet man bei den Fischen, Amphibien und besonders den Vögeln, welch letztere wenigstens sicherlich hören, mit wenigen Ausnahmen keine Ohrmuscheln. Die meisten Säugetiere, bis auf einige Ausnahmen, wie z. B. Walross, Schnabeltier, Maulwurf, haben eine Ohrmuschel und zwar vielfach eine solche von tütenähnlicher und elliptischer Form. Vermöge der gut ausgebildeten Ohrmuschelmuskulatur werden Stellungsveränderung und Verkürzung oder Verlängerung des Ohres ermöglicht. Die menschliche Ohrmuschel hat jedoch im Laufe der Zeit ihre Bewegungsfähigkeit

vollkommen eingebüsst (denn nur wenige Menschen können die Ohrmuschel bewegen). Der Verlust der Bewegungsfähigkeit wird dagegen beim Menschen durch zweckentsprechende Kopfwendungen ersetzt, durch welche der Gehörgang in möglichst günstige Stellung zur Schallquelle gebracht wird.

Die *Darwin*sche Theorie von der Vererbung und Anpassung kennzeichnet die heutige Bedeutung der Ohrmuschel: „Durch Anpassung an besondere Lebensbedingungen sind die früher tätigen und wirklich arbeitenden Organe allmählich nicht mehr gebraucht worden und ausser Dienst getreten. Infolge mangelnder Übung sind sie mehr und mehr verkümmert, trotzdem aber immer noch durch Vererbung von einer Generation auf die andere übertragen worden, bis sie endlich grösstenteils oder ganz verschwanden."

Nächst der Ohrmuschel ist von anderen Autoren, wie *Weber* (45), *Küpper* (17), *Rogdestwensky* (32), das Trommelfell zur Schallokalisation in Anspruch genommen worden. *Weber* hält das Trommelfell infolge seines grossen Nervenreichtums für befähigt, die von verschiedenen Richtungen kommenden Schallwellen zu unterscheiden, da je nach der Stellung der Schallquelle andere Teile des Trommelfells getroffen werden sollen. Tauchte er den Kopf unter Wasser, sodass noch etwas Luft im Gehörgang enthalten war, wurden die von aussen kommenden Schalleindrücke deutlich ihrer Richtung nach (rechts und links) unterschieden. Wurde dagegen der Gehörgang sorgfältig mit Wasser gefüllt, so trat von der Schallquelle nur eine Empfindung im Innern des Kopfes auf, ohne dass jedoch die Schallrichtung angegeben werden konnte. Der Unterschied der Wahrnehmungen beruht angeblich darauf, dass im ersten Fall die Wirksamkeit des Trommelfells nicht vollkommen ausgeschaltet war, während im zweiten Fall durch die auf dem Trommelfell lastende Wassersäule die Exkursionsfähigkeit desselben aufgehoben war. *Schmiedekam* (35) fand dagegen, dass bei vollkommen mit Wasser erfülltem Gehörgang das Ohr für alle in der Umgebung erzeugten Schallarten schwerhörig sei, in geringerem Grade bei lufthaltigem Gehörgang. Sämtliche Töne und Geräusche würden gedämpft empfunden, und es machte den Eindruck, als ob sie aus weiter Ferne kämen. Die Möglichkeit einer Schallokalisation hörte vollkommen auf. Bei Ausfüllen eines Ohres mit Salzwasser, wie *Preyer* (27) es getan, trat eine starke Neigung auf, den Schall nach dem offenen Ohr zu verlegen. So wurde unter 8 Fällen 5 mal ein von rechts kommender Schall nach links verlegt.

Dafür, dass das Trommelfell bei der Richtungsunterscheidung ohne jegliche Bedeutung ist, spricht wesentlich die Fähigkeit, die hohen Töne, die dem Labyrinth überwiegend durch Knochenleitung zugeführt werden, selbst bei vollkommen fest verschlossenem Gehörgang, exakt zu lokalisieren. Ein Einfluss von seiten des Trommelfells ist also in diesem Fall unmöglich. Führt man ferner in den äusseren Gehörgang einen dünnen Wattebausch ein, so wird hierdurch die Lokalisationsfähigkeit gar nicht herabgesetzt, während selbstverständlich, wenn taktile Vorgänge am Trommelfell in Frage kämen, die Beeinträchtigung wesentlich sein müsste. Selbst Leute mit grossem oder totalem Trommelfelldefekt lokalisieren häufig vollkommen richtig.

Neben dem Trommelfell soll auch der M. tensor tympani eine Rolle bei der Schallokalisation spielen. Nach *Rogdestwensky* (32) tritt bei jeder Schallwahrnehmung eine Zuckung des Tensor tympani ein, sodass hierdurch die Richtungserkennung ermöglicht wird. So will er an einem in den Gehörgang eingeführten, mit Spiritusäther gefüllten Manometer bei aufmerksamem Lauschen auf eine Schallquelle 50—70 mal in der Minute auftretende periodische Kontraktionen festgestellt haben. Gestützt werden diese Beobachtungen auf die bekannten Angaben von *Hensen*, der an Hunden im Beginn einer Schallempfindung eine Tensorzuckung beobachtete.

Rogdestwenskys Theorie ist aber auf einer mehr als unsicheren Basis aufgebaut. Bis zur Zeit ist die Tätigkeit des M. tensor tympani überhaupt noch vollkommen ungeklärt. Am meisten verbreitet ist die Annahme, dass der Tensor auf reflektorischem Wege bei schrillen Tönen oder Geräuschen die Übertragung der Schwingungen auf das Mittelohr dämpfte, andere schreiben ihm dagegen die Fähigkeit zu, eine Akkommodation des Trommelfells herbeizuführen.

Wie es sich nun auch mit der Funktion dieses Muskels verhalten mag, soviel steht fest, dass grosse individuelle Differenzen vorkommen. So gab z. B. Herr Professor *Schaefer*, der mehrmals die Liebenswürdigkeit hatte, mir bei meinen Untersuchungen als Versuchsperson zu dienen, beim Ertönen des cri-cri an, jedesmal eine deutliche Tensorzuckung zu verspüren, die ihm die Lokalisation des Schalles erleichtere; bei tiefen Tönen trat diese Zuckung nicht auf. Ich selbst hatte nie die geringste derartige Empfindung, nur während der Dauer eines einseitigen Tubenkatarrhs bemerkte ich gleichfalls beim cri-cri ein sehr intensives, kurz andauerndes,

schmerzhaftes Zucken im erkrankten Ohr, das jedoch die Lokalisation nicht beeinflusste.

Wenn somit die Ohrmuschel, das Trommelfell und der mit ihm in Verbindung stehende Tensor tympani offenbar kaum irgend welchen Einfluss auf die Richtungserkennung des Schalles ausüben, so gilt dasselbe auch von den Bogengängen, von denen *Preyer* (27) und andere behauptet haben, dass sie zur Schallokalisation bestimmt seien.

Preyer bediente sich bei seinen Untersuchungen, um stets in gleicher Entfernung und Richtung zu bleiben, einer Schallhaube, eines Drahtgestells, das haubenartig den Kopf umgab und das die 26 Richtungen, die unterschieden werden sollten, durch von ihr ausgehende, 18 cm lange Drähte angab. Es wurden geprüft: vo, v, vu, vro, vr, vru, ro, r, ru, hro, hr, hru, ho, h, hu, hlo, hl, hlu, lo, l, lu, vlo, vl, vlu, o, u. Als Schallquelle benutzte er das cri-cri. Unter den mehreren Tausend von ihm ausgeführten Versuchen wurde nicht ein einziges Mal ein von links kommender Schall nach rechts oder umgekehrt verlegt; desgleichen wurde auch kein seitlicher Schalleindruck in die Medianebene lokalisiert. Die Verwechslung einzelner Richtungen auf der rechten und linken Seite verteilte sich gleichmässig auf beide Kopfhälften. Die Richtungen vorn und unten, unten und vorn-oben, vorn und hinten-unten wurden niemals miteinander verwechselt, während vorn häufiger für vorn-oben und hinten für hinten - oben gehalten wurde.

Während *Preyer* bei beiderseits offenem Gehörgang 29,4 pCt. richtige Urteile erhalten hatte, sank bei Fortsetzung der Versuche durch *Arnheim* bei beiderseits geschlossenem Gehörgang die Zahl auf 19,6 pCt. Dabei zeigte sich jedoch die Abnahme des Prozentsatzes der Urteile hauptsächlich durch Verwechslung der Zwischenrichtungen vr, vl, hr, hl usw. bedingt, während der Prozentsatz in der Medianebene ziemlich unverändert blieb. Bei einseitig offenem Gehörgang stellte sich die Zahl der richtigen Urteile auf 22,4 pCt. Gleichzeitig machte sich eine ausgesprochene Neigung bemerkbar, Gehörseindrücke nach der Seite des offenen Ohres hin zu verlegen.

Ausgehend von der Annahme, dass die Fische ohne Schnecke hören und trotz Mangel einer äusseren Gehöröffnung die Schallrichtung ermitteln könnten, übertrug *Preyer* diese Anschauung auch auf die höheren Wirbeltiere und auf den Menschen. Durch die vermittelst Wasser oder bei den in der Luft lebenden Wirbel-

tieren vermittelst Luft übertragenen Schallwellen werde die Endolymphe in den häutigen Bogengängen mit entsprechender Stärke und Frequenz in Schwingungen versetzt. Diese Wellen pflanzten sich in der Endolymphe gleichmässig fort, die ganze Flüssigkeit gerate daher in isochrone Bewegung, wodurch die in die Ampullen und in die Endolymphe hineinragenden Härchen in Mitschwingung versetzt würden. „Wenn man," meint *Preyer* weiter, „erwägt, dass bei derartiger Erregung einer Ampulle durch Erschütterung der Flüssigkeit nur des ihm zugehörigen Bogengangs eine andere Schallempfindung bei gleicher Stärke, Tonhöhe und Klangfarbe, als bei Erregung einer anderen Ampulle entstehen muss, da es ja andere Nervenfasern sind, die erregt werden, so wird man diese Verschiedenheit nicht anders als eine räumliche bezeichnen können." Die spezifische Energie der Ampullennerven sei befähigt, ein mit Schall verbundenes Raumgefühl, ein Richtungsgefühl hervorzurufen. Die Art dieses Eindrucks hänge ab von der Richtung, aus der der Schall herkomme. Die einzelnen Schallrichtungen würden nun dadurch ermittelt, dass bald der eine, bald der andere oder je ein Paar zugehöriger Bogengänge durch den Schall stärker affiziert würden als die anderen.

Der Nachteil, der der *Preyer*schen Bogengangstheorie anhaftet, besteht vor allem in dem vollkommenen Mangel einer tatsächlichen physiologischen Grundlage. Daher hat *Preyer* selbst auch gar nicht den Versuch gemacht, dieselbe irgendwie eingehender zu begründen.

Dieselbe Theorie ist ohne *Preyers* Wissen bereits früher, unter anderen von *Harless* (12), aufgestellt, jedoch ihrer Unhaltbarkeit wegen sofort wieder verworfen worden, und zwar aus folgenden Gründen: Wenn nämlich, so meint *Harless*, Schallwellen den Kopf treffen, pflanzen sie sich, den Schallgesetzen folgend, gleichmässig fort. Bei Auftreffen auf einen Bogengang werden also die Schallwellen sich gleichzeitig auch auf die anderen ausbreiten. Eine Möglichkeit der Beurteilung, welcher von den Bogengängen zuerst getroffen, liegt infolgedessen nicht vor. Ein Analogon hierzu bildet der Gesichtssinn. Führt man nämlich am Auge einen leuchtenden Körper mit der Geschwindigkeit einer Schallwelle vorbei, so kann man nicht entscheiden, welcher Teil der Netzhaut zuerst affiziert wurde. Ebenso bei den Bogengängen. Auch deshalb, weil Schallwellen in der Breite des Abstandes zweier Bogengänge kaum existieren, ist die Reizung e i n e s Bogenganges auszuschliessen, denn in den meisten Fällen werden sofort mehrere oder alle Bogengänge getroffen werden. Ebenso wie für die Schallwellen, die durch

Knochenleitung zur Perzeption gelangen, lässt sich auch die Unmöglichkeit der Reizung eines einzelnen Bogenganges für die durch Luftleitung übertragenen Schallwellen beweisen; denn die Breite des Anstosses ist stets durch die Grösse der Steigbügelplatte bedingt. Es ist aber nicht denkbar, dass bei den geringen Exkursionen der Steigbügelplatte diese bald dieser, bald jener Ampulle gegenübergestellt werden kann. Selbst wenn dies der Fall wäre, so bewirkte dies nicht der äussere Impuls, sondern der Steigbügelmuskel. Dies würde dann für die Lage der Schallquelle gleichgültig sein, infolgedessen auch nicht durch den Nerv bestimmbar.

Die *Preyer*sche Theorie, die eben wegen des Fehlens einer positiven physiologischen Grundlage nur wenig Anhänger fand, ist später noch einmal von *Münsterberg* (23), allerdings in etwas modifizierter Form, wieder aufgenommen worden.

Durch Reizung der halbzirkelförmigen Kanäle sollten reflektorische Kopfbewegungen ausgelöst werden, die die Lokalisation herbeiführten. „Einen Schall lokalisieren, heisst," sagt *Münsterberg*, „die Empfindung derjenigen reflektorischen Kopfbewegung, die notwendig ist, um sich der Schallquelle zuzuwenden, einzuordnen in das gesamte System der Kopfbewegungsempfindungen."

Abgesehen davon, dass die *Münsterberg*sche Theorie auf demselben Prinzip wie die *Preyer*sche aufgebaut, ist ihre Unhaltbarkeit durch *v. Kries* (15) auch auf anderem Wege demonstriert worden. Nimmt man nämlich eine Empfindung x mit Bewegungsimpuls α, eine Empfindung y mit Bewegungsimpuls β an, so würden bei gleichzeitigem Auftreten beider Empfindungen beide Bewegungsimpulse gleichzeitig entstehen. Eine Unterscheidung jedoch, welche Empfindung α und welche β zugehört, ist nicht möglich, wenn man nicht annehmen will, dass beide Impulse zu einem von mittlerer Beschaffenheit verschmelzen. Beide Empfindungen werden aber im Bewusstsein von einander getrennt und richtig lokalisiert, wie *v. Kries* durch seine Versuche über die gleichzeitige Wahrnehmung zweier verschiedener Schallrichtungen gezeigt hat.

Während nun die vorhergehenden Theorien ein bestimmtes Organ zur Lokalisation des Schalles in Anspruch nehmen, verzichtet die nächste, die älteste aller Theorien, die auch heute noch vielerseits anerkannt wird, auf ein derartiges Organ und zieht allein den Intensitätsunterschied, der bei Erregung beider Ohren seitens einer nicht median gelegenen Schallquelle entsteht, zur Erklärung heran. Bereits *Chladni* (8) sagt in seiner Akustik: „Wenn ein Ohr

verstopft ist und man bleibt bei verbundenen Augen immer in einerlei Stellung, so scheint der Schall, er werde erregt, wo man wolle, immer von der Seite des offenen Ohres herzukommen, und zwar von dem Orte, der dem Ohre gerade gegenüberliegt oder mit anderen Worten in der akustischen Achse des Ohres.“ Drehe man den Kopf, so nehme der Schall bald ab, bald wieder zu, je nachdem die „akustische Achse“ sich der Schallquelle zudrehe oder von derselben entferne; das Maximum der Perzeption trete ein, wenn Schallquelle und Gehörgangsachse in eine Linie fallen. Bei einseitig verschlossenem Gehörgang werde sich also durch derartige Bewegungen der Ort der Schallquelle ermitteln lassen. Bei beiderseits offenem Gehörgang werde dagegen aus dem Intensitätsunterschied der beiden Ohren der Ort der Erregung erschlossen werden.

Durch experimentelle Untersuchungen und auf rechnerischem Wege gelangten auch andere, wie *Kessel* (14), *Tarchanow* (41) und *Steinhauser* (39), zu derselben Auffassung der Schallokalisation. *Kessel* benutzte dazu ein dreiarmiges Hörrohr, von dem zwei Enden luftdicht in die äusseren Gehörgänge eingeführt waren. Wurde vor dem dritten Arm, an dem sich ein mit einer Membran überspannter Trichter befand, eine Stimmgabel angeschlagen, so wurden beide Ohren (bei gleicher Länge der Schläuche und gleicher Lochweite der Ansätze) gleich stark durch den Ton erregt. Es tritt nur eine Wahrnehmung auf, die in die Medianebene des Kopfes verlegt wird. Schwächt man den Ton durch Zudrücken eines der seitlichen Schläuche ab, wird die Wahrnehmung nach dem stärker erregten Ohr verlegt; drückt man dann den bisher unverschlossenen Schlauch vollkommen zu, so wird jetzt der Ton nach dem bisher anscheinend nicht erregten (physiologisch tauben) Ohre verlegt. Auch bei zwei Stimmgabeln von gleicher Tonhöhe, aber verschiedener Stärke, die vor je ein Ohr gehalten werden, erfolgt nur e i n e Wahrnehmung auf dem stärker erregten Ohr. Zu denselben Resultaten kam auch *Tarchanow* (41), der Telephone als Schallquelle benutzte.

Das Gehörorgan ist also imstande, sehr geringe Intensitätsschwankungen wahrzunehmen. Bei gleich starker Erregung beider Ohren erfolgt nur e i n e Wahrnehmung in der Medianebene, bei ungleich starker Erregung gleichfalls nur e i n e Wahrnehmung mit Lokalisation nach der Seite des stärker erregten Ohres.

Steinhauser arbeitete eine mathematische Formel aus, mit welcher Intensität ein Schall von einem gegebenen Punkt aus beide Ohren trifft. Auf dem Wege der Übung fänden die Ohren

seiner Meinung nach dasselbe, was sich auf mathematischem Wege berechnen liesse. Im Laufe der Zeit lerne nämlich das Ohr, das Auge als Lehrmeisterin benutzend, die verschiedenen Schallarten kennen und könne umgekehrt aus der Art des Schalles den Schallerreger erkennen. Aus dem Eindruck, den ein aus bekannter Richtung kommender Schall hervorrufe, werde allmählich die Richtung erlernt, in der sich die Schallquelle befinde, ohne dass es notwendig sei, hierzu die Augen zur Unterstützung heranzuziehen. Je nach der Art des Weges, den die von der Schallquelle ausgehenden Schallstrahlen zu dem einzelnen Ohr zurückzulegen haben, unterscheidet *Steinhauser* das direkte, indirekte und gemichte monaurale Hören. Bei dem direkten monauralen Hören gelangten die Schallstrahlen unmittelbar, in Geraden, zum Ohr, während sie bei dem nicht unmittelbaren, indirekten, erst nach einfacher oder mehrfacher Reflexion an Gegenständen, also nicht in geraden Linien, zum Ohre gelangten. Bei dem gemischten Hören kämen die Schallstrahlen teils als direkte, teils als indirekte zum Ohre. Nach *Steinhausers* Ansicht ist nun der Mensch infolge des binauralen Hörens „unter günstigen Umständen" befähigt, „aus Schallwahrnehmungen zu erkennen, in welchem Hörbereiche sich der Schallerreger befindet". Ein genaueres Erkennen der Schallrichtung sei nur dann ermöglicht, falls sich die Schallquelle im Bereiche des direkten binauralen Hörens befinde. Ist die Schallquelle entweder im Bereich des indirekten oder gemichten Hörbereichs, so könne die Richtung nur dadurch ermittelt werden, dass vom Beobachter Kopfwendungen ausgeführt würden, um die Schallquelle in das Bereich des direkten Hörens oder der Grenze zweier benachbarter Bezirke oder in die bekannte Richtung des besten monauralen Hörens zu bringen.

Wie geringe Abweichungen der Schallquelle aus der Medianebene das Gehörorgan zu empfinden vermag, ist erstaunlich. Nach *Münsterbergs* (23) Angaben werden bereits vorn in der Medianebene Winkel von 1°, nach *Seashore* (38) erst von 5° bemerkt. *Münsterberg* und später auch *Bloch* (5) haben des weiteren systematische Versuche angestellt, um in den verschiedenen Ebenen des Kopfes, der horizontalen, sagittalen und frontalen Ebene, die Lokalisationsschärfe zu bestimmen. Im Frontalkreise bestehen nach ihren Untersuchungen vier Stellen der besten Lokalisation, nämlich oben, unten, rechts und links; dazwischen liegen ebensoviele Gebiete herabgesetzter Fähigkeit für die Richtungs-Erkennung. Die Resultate über die Lokalisationsschärfe im horizontalen und sagittalen Kreise weichen wesentlich voneinander ab;

denn nach *Bloch* nimmt die Lokalisationsschärfe im horizontalen Kreise von vorn nach beiden Seiten zu ab, erreicht im Gehörgang ihr Minimum, um nach hinten zu wiederum zu steigen, ohne jedoch denselben Wert wie vorn zu erlangen, nach *Münsterberg* sinkt dagegen die Lokalisationsschärfe von vorn nach den Seiten, um hinten auf das Minimum zu fallen; im Sagittalkreise soll nach *Blochs* Ansicht die Lokalisationsschärfe am geringsten sein, während *Münsterberg* hier die Lokalisationsempfindlichkeit für höher als in den beiden anderen Kreisen hält.

Ausser dem Intensitätsunterschiede auf beiden Ohren zieht Kessel noch andere Hülfsmomente, vor allen Dingen Kopfbewegungen, die vom Beobachter zwecks Intensitätsänderung des Schalles vorgenommen werden, zur Lokalisation heran. Durch Vergleich der einzelnen Intensitäten würde die Schallrichtung ermittelt, das Maximum der Perzeption sei stets in der Gehörgangsachse gelegen.

von Kries (16), *Auerbach* (16) und *Politzer* (26) gelangten auf anderem Wege zu denselben Resultaten. *Politzer* stellte bei der Untersuchung einseitig Schwerhöriger die Unfähigkeit der Schallrichtungsangabe fest (Paracusis loci); bei beiderseits Schwerhörigen fand er vielfach die gleiche Unfähigkeit, auch dann, wenn der Grad der Hörstörung auf beiden Ohren nicht wesentlich verschieden war.

Während die Mehrzahl der Untersucher die Lokalisationsprüfungen in geschlossenen Räumen anstellte, wo Schallreflexion und Knotenbildungen leicht zu Irrtümern Veranlassung geben können, sind in dieser Beziehung die im Freien von Lord *Rayleigh* (28) gewonnenen Resultate interessant. Nach ihm kann eine Versuchsperson nicht entscheiden, ob eine vor einem Resonator tönende Gabel unmittelbar vor oder hinter ihr sich befindet. (Im Versuch muss man zwei gleiche Gabeln gleichzeitig vorn und hinten anstreichen lassen und dann den Resonator über eine von ihnen halten.) *Rayleigh*, der hier offenbar ganz auf dem Standpunkt steht, dass nur die Intensität für die Lokalisation massgebend sei, knüpft daran weiter folgenden Gedankengang: Das Urteil ist unzweifelhaft, sobald die Schallquelle in der Richtung der die Ohren verbindenden Linie steht und das Stärke-Verhältnis auf beiden Ohren daher möglichst weit von 1 entfernt ist; je näher die Gabel nach vorn oder hinten rückt, um so mehr tritt auf beiden Ohren Gleichheit (Verhältnis 1 : 1) ein. Nun müsse es auf jeder Seite des Kopfes eine Vorn- und eine Hintenrichtung geben, bei denen das Verhältnis auch gleich 1 ist. So fand er auch, dass ein

nach Norden blickender Beobachter eine nordwestliche und südwestliche Richtung verwechselte, nie aber Ost und West. Um dem Vorwurf zu entgehen, dass etwa der Schall auf einem Ohr eher einträfe als auf dem anderen, liess *Rayleigh* beide Ohren während der Schallerzeugung schliessen und dann erst öffnen. Die Resultate blieben jedoch unverändert. Diese von *Rayleigh* angewandte Vorsichtsmassregel war freilich unnötig, denn die kleinste noch wahrnehmbare Zeitdifferenz zwischen zwei gleichen Gehörsreizen beträgt nach *Exner* 0,002 Sekunden. Eine einfache Rechnung zeigt aber, dass der Schall noch nicht so lange Zeit gebraucht, um von einem Ohr zum anderen zu gelangen, sei es durch den Kopf, sei es um den Kopf. Es werden also beide Ohren nicht nacheinander, sondern stets gleichzeitig erregt; es erfolgt mithin nur eine Wahrnehmung.

Silvanus P. Thompson und andere englische Forscher sind nur in beschränktem Masse Anhänger der Intensitätstheorie; sie ziehen zur Erklärung der Schallokalisation noch Faktoren physiologisch-akustischer Art heran. So meinen *Thompson* (42) und *Angell* mit *Fite* (1), dass es nicht auf den Intensitätsunterschied der Grundtöne am rechten und linken Ohr ankäme, sondern auf den Intensitätsunterschied desjenigen oder derjenigen Teiltöne, deren Intensitätsänderung den grössten Einfluss auf die Klangfarbe habe. Die Erkennung der Schallrichtung erfolge jedoch nicht unmittelbar auf Grund dieses Intensitätsunterschiedes, sondern vielmehr auf Grund der dadurch bedingten Klangfarbenverschiedenheit, mit deren Änderungen das Ohr von Kindheit an gewöhnt sei, bestimmte Richtungsänderungen zu assoziieren. Würden daher bekannte Töne einohrig mit einer bestimmten Klangfarbenveränderung gehört, so werde gleichzeitig eine bestimmte Richtung suggeriert. Im allgemeinen würden zusammengesetzte Töne besser lokalisiert als einfache, desgleichen hohe Töne besser als tiefe. Einfache könnten vielfach überhaupt nicht bestimmt werden, was *Thompson* auch mit seinem Pseudophon (einem verstellbaren Schallfänger) bestätigt fand.

Auch *Rayleigh* (29) hält in einer späteren Arbeit zwar noch den Intensitätsunterschied zur Lokalisation für wichtig, behauptet jedoch, dass nur bei hohen Tönen die Richtungsunterscheidung nach der Intensität erfolge. Die Lokalisation der tieferen Töne werde bei binauraler Zuleitung durch die Fähigkeit des Ohres, Phasendifferenzen wahrzunehmen, ermöglicht; bei monauralem Hören, wo keine Phasendifferenzen

auftreten können, seien die Phasenunterschiede zwischen Grund- und Obertönen für die Richtungsbestimmung massgebend. So gelang es ihm, beim Hören zweier ganz wenig gegen einander verstimmter, annähernd gleich lauter Stimmgabeln (128 v. d.), deren Töne den Ohren einzeln so zugeleitet wurden, dass kein Schall um den Kopf herumtreten konnte, ein Wandern der Lokalisation von einer Seite zur anderen entsprechend dem Phasenwechsel herbeizuführen. Die Unterscheidung von vorn und hinten erklärt er durch Qualitätsunterschiede, die durch die Wirkung der Ohrmuschel bedingt seien.

Die Annahme *Rayleighs*, dass die Phasenverhältnisse einen wesentlichen Einfluss auf die Schallokalisation haben, erscheint von vornherein ausserordentlich unwahrscheinlich; denn nach den Untersuchungen von *Helmholtz*, *Hermann* und *Lindig* darf man als erwiesen betrachten, dass gerade die Phasenverhältnisse für das Hören völlig belanglos sind. Viel wahrscheinlicher ist es, dass die Phasenverhältnisse nur einen mittelbaren Einfluss auf die Schallokalisation haben. Eine experimentelle Bestätigung hierfür hat auch kürzlich eine wichtige Untersuchung von *Myers* und *Wilson* (25) erbracht. Diese Autoren haben die Versuche Lord *Rayleighs* über die Beziehung zwischen den Phasendifferenzen rechts und links einerseits und der Lokalisation andererseits nachgeprüft, indem sie einen Gabelton beiden Ohren eines Beobachters zugleich durch je eine Röhre so zuleiteten, dass der Ton dabei zu dem einen Ohr einen um eine variable und genau messbare Strecke längeren Weg zurückzulegen hatte als zu dem zweiten. Sie fanden die Resultate *Rayleighs* bestätigt, führen dieselben aber unter der unbedingt zutreffenden Voraussetzung, dass bei derartigen Versuchen der Schall von jedem Ohr aus durch den Kopf hindurch (metotische Knochenleitung) auch zum Ohr der anderen Seite gelange, darauf zurück, dass mit der Phasendifferenz auch eine Intensitätsdifferenz zwischen der rechten und linken Tonwahrnehmung auftrete, und zeigen durch eine mathematische Betrachtung, dass eben diese Intensitätsverhältnisse dafür massgebend sind, ob der Ton rechts, links oder median gehört werde.

Zum weiteren Studium des Einflusses der Intensität auf die Schallokalisation schien es mir wünschenswert, auch nicht normalhörende Versuchspersonen in systematischer Weise heranzuziehen. Diesen Teil der Untersuchung begann ich an einseitig radikal operierten Personen, deren Hörfähigkeit auf dem gesunden Ohr normal war, während die Hörfähigkeit auf dem anderen zwischen

fast totaler Taubheit und 2,5 m für Flüstersprache schwankte. Diejenigen, bei denen nach dem klinischen Befund eine Labyrinthaffektion auf dem operierten Ohre vorlag, wurden zunächst ausgeschlossen. Bei jeder einzelnen Versuchsperson wurde ein genauer Ohrbefund mit Feststellung der Hörfähigkeit aufgenommen und bei denjenigen, bei denen die Operationshöhle noch nicht vollkommen trocken war, vor jeder Sitzung Kontrolluntersuchungen angestellt, um Beeinflussungen der Resultate durch Änderung des Befundes auszuschliessen. Die Lokalisationsprüfung erfolgte wie bei den oben beschriebenen Versuchen mit dem cri-cri, jedoch mit dem Unterschiede, dass nicht nur die Medianrichtungen, sondern wie bei den *Preyer*schen Untersuchungen sämtliche 26 Richtungen geprüft wurden. Die Anzahl, in der jede einzelne Richtung bestimmt wurde, schwankte zwischen 8 und 24. Die gewonnenen Resultate wurden ebenso protokolliert wie bei den Ohrmuschelversuchen. Die Prozentberechnungen beziehen sich auf Verlegung aller in der Medianebene abgegebenen Urteile nach rechts oder links, und zwar bei Schema **a** für die bei vo, v, vu, bei Schema **b** für die bei ho, h, hu und bei Schema **c** für alle in der Medianebene abgegebenen Urteile zusammen. Bestand eine Verlegung des Schallortes von der kranken Seite nach der Medianebene oder sogar nach der gesunden Seite, so geben darüber besondere Tabellen Aufschluss.

F a l l 1 (St.), rechts radikal operiert am 27. IV. 1907.

Flüstersprache rechts 1,5; links 7 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	**0** pCt.	54,2 pCt.	45,8 pCt.
b)	**50** „	33,3 „	16,7 „
c)	**25** „	43,7 „	31,3 „

Von der kranken Seite nach der Medianebene oder nach der gesunden Seite keine Verlegung.

F a l l 2 (Pr.), links radikal operiert 1900.

Flüstersprache rechts 7; links 0,3 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	85,4 pCt.	12,5 pCt.	**2** pCt.
b)	62,5 „	25 „	**12,5** „
c)	73,9 „	18,7 „	**7,2** „

Von der kranken Seite nach der Medianebene oder nach der gesunden Seite keine Verlegung.

Fall 3 (Pf.), links radikal operiert am 15. IV. 1907.
Flüstersprache rechts 7; links 2,5 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	23,8 pCt.	66,6 pCt.	**9,5** pCt.
b)	71,4 „	28,5 „	**0** „
c)	47,6 „	47,6 „	**4,7** „

Es wurden verlegt:
von der kranken Seite nach der Mitte 14,2 pCt.
nach der gesunden Seite 23,8 „
Es verblieben auf der kranken Seite 61,9 „

Fall 4 (K.), rechts radikal operiert 1903.
Flüstersprache rechts 0,2; links 6 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	**0** pCt.	8,3 pCt.	91,6 pCt.
b)	**37,5** „	20,8 „	41,6 „
c)	**18,7** „	14,5 „	66,6 „

Es wurden verlegt:
von der kranken Seite nach der Mitte 1,4 pCt.
nach der gesunden Seite 2,7 „
Es verblieben auf der kranken Seite 95,8 „

Fall 5 (Fr.), rechts radikal operiert am 5. X. 1906.
Flüstersprache rechts 0,2—0,4; links 7 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	**0** pCt.	5 pCt.	95 pCt.
b)	**0** „	16,6 „	83,3 „
c)	**0** „	10,8 „	89 „

Es wurden verlegt:
von der kranken Seite nach der Mitte 1,4 pCt.
nach der gesunden Seite 0 „
Es verblieben auf der kranken Seite 98,6 „

Fall 6 (He.), links radikal operiert am 21. VIII. 1907.
Flüstersprache links ad concham; rechts 7 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	18,7 pCt.	81,3 pCt.	**0** pCt.
b)	54,1 „	45,8 „	**0** „
c)	36,4 „	63,5 „	**0** „

Es wurden verlegt:
von der kranken Seite nach der Mitte 2,1 pCt.
nach der gesunden Seite 0 „
Es verblieben auf der kranken Seite 97,9 „

Fall 7 (Fe.), rechts radikal operiert am 15. VIII. 1907.
Flüstersprache rechts 0,8—1; links 7 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	0 pCt.	53,3 pCt.	46,7 pCt.
b)	0 „	70 „	30 „
c)	0 „	61,6 „	38,3 „

Es wurden verlegt:
von der kranken Seite nach der Mitte 3,3 pCt.
nach der gesunden Seite 0 „
Es verblieben auf der kranken Seite 96,7 „

Fall 8 (Ha.), rechts radikal operiert am 21. VIII. 1907.
Flüstersprache links 6 m; rechts ad concham.

	Rechts	Mitte	Links
a)	0 pCt.	47,9 pCt.	52,1 pCt.
b)	0 „	70,8 „	29 „
c)	0 „	59,3 „	40,6 „

Es wurden verlegt:
von der kranken Seite nach der Mitte 16,6 pCt.
nach der gesunden Seite 1,4 „
Es verblieben auf der kranken Seite 81,9 „

Fall 9 (Th.), rechts radikal operiert am 15. I. 1906.
Flüstersprache rechts ad cocham; links 6 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	2,2 pCt.	35,7 pCt.	62,2 pCt.
b)	8,3 „	58,3 „	33,3 „
c)	3,2 „	47,0 „	47,7 „

Es wurden verlegt:
von der kranken Seite nach der Mitte 47,2 pCt.
nach der gesunden Seite 4,2 „
Es verblieben auf der kranken Seite 48,6 „

Fall 10 (Bü.), rechts radikal operiert am 3. I. 1906.
Flüstersprache rechts ad concham; links 7 m.

	Rechts	Mitte	Links
a)	0 pCt.	25 pCt.	75 pCt.
b)	0 „	29,1 „	70,8 „
c)	0 „	27 „	72,9 „

Es wurden verlegt:
von der kranken Seite nach der Mitte 33,3 pCt.
nach der gesunden Seite 9,7 „
Es verblieben auf der kranken Seite 57 „

Aus den Tabellen geht hervor, dass im allgemeinen die Tendenz besteht, Gehörseindrücke aus der Mittellinie nach dem gesunden, besser hörenden Ohre zu verlegen. Ein Vergleich der Prozentzahlen zwischen vorn und hinten ergibt eine sicherere Beurteilung der von hinten herkommenden Schalleindrücke gegenüber den von vorne kommenden; denn unter 10 Fällen sind nur 2, bei denen die Zahlen für Vorn die für Hinten überwiegen.

Eine Beziehung zwischen der Abnahme der Hörfähigkeit und der Zahl der aus der Medianebene nach dem gesunden Ohr verlegten Urteile lässt sich nicht konstruieren, was durch nachfolgende Tabelle, bei der die einzelnen Fälle nach dem Grade der Hörfähigkeit geordnet sind, dargetan wird. Die fettgedruckten Zahlen beziehen sich auf das kranke Ohr.

		Rechts	Mitte	Links
Fall 3	Hörfähigkeit[1]) l. 2,5 m	47 pCt.	47 pCt.	**4** pCt.
„ 1	„ r. 1,5 m	**25** „	43 „	31 „
„ 7	„ r. 0,8—1 m	**0** „	61 „	38 „
„ 2	„ l. 0,3 m	73 „	18 „	**7** „
„ 4	„ r. 0,2—0,4 m	**0** „	10 „	89 „
„ 5	„ r. 0,2 m	**18** „	14 „	66 „
„ 6	„ l. ad concham	36 „	63 „	**0** „
„ 8	„ r. „ „	**0** „	59 „	40 „
„ 9	„ r. „ „	**5** „	47 „	47 „
„ 10	„ r. „ „	**0** „	27 „	72 „

Eine Abnahme der Verlegung aus der Medianebene nach dem kranken Ohr entsprechend der Herabsetzung der Hörschärfe liess sich mit irgend wie merklicher Regelmässigkeit nicht feststellen.

Während bei Normalhörenden oder bei geringerer Herabsetzung der Hörfähigkeit die Schalleindrücke auf der Seite der Schallquelle verbleiben, treten in 8 unter den 10 radikal operierten Fällen Verschiebungen nach dem gesunden Ohr auf, allerdings findet sich ein Übertreten von der erkrankten Seite nach dem gesunden Ohr nur bei hochgradiger Schwerhörigkeit.

Inwieweit eine mit der Dauer der Ertaubung sich ausbildende Übung einen Einfluss auf das Lokalisationsvermögen zu gewinnen vermag, konnte ich leider nicht ermitteln, da sämtliche Kranke mit einer Ausnahme erst in den letzten Jahren operiert waren. *Angell* und *Fite* (1) fanden nämlich bei ihren Untersuchungen an einseitig seit langer Zeit Ertaubten, dass die Übung den ungünstigen

[1]) Die Hörfähigkeit ist stets auf Flüsterprache bezogen.

Einfluss der einseitigen Taubheit bei der Schallokalisation fast vollkommen kompensieren kann; es bleibt nur eine besondere Unsicherheit in der Medianlokalisation dauernd zurück.

Bei den bisher untersuchten Fällen war sicherlich, wenn auch nur in geringem Grade, auf der kranken Seite ein Rest von Funktionsfähigkeit des inneren Ohres erhalten. Bei den beiden folgenden Kranken handelt es sich nach Operations- und Krankengeschichte um eine vollkommene Funktionsunfähigkeit des inneren Ohres.

Fall 1 (Pa.), links radikal operiert zum ersten Mal am 28. III. 1900, zum zweiten Mal am 7. VI. 1900.

Links Operationshöhle vollkommen trocken, linksseitige Facialislähmung; rechtes Ohr normal. Flüstersprache rechts 6 m, links überhaupt keine Perzeption. Weber nach rechts. Die Lokalisationsprüfung ergab:

Rechts	Mitte	Links
100 pCt.	0 pCt.	**0** pCt.

Sämtliche in der Medianebene oder auch links hervorgebrachten Töne und Geräusche werden nach rechts lokalisiert. Die Patientin gibt an, es habe stets den Anschein, als ob alle Schalleindrücke nur von rechts kämen. Auch bei der Untersuchung mit diversen Stimmgabeln werden alle Töne durch Luftleitung nur rechts vernommen, während durch Knochenleitung nur die ganz tiefen Gabeln an der Ansatzstelle, wahrscheinlich infolge taktiler Vorgänge, verspürt werden.

Fall 2.

Ein wesentlich anderes Resultat lieferte der zweite Patient (M.), der gleichfalls vollkommen einseitig taub war. Er war bereits früher mehrmals operiert, zum drittenmal am 17. IX. 1907. (radikal rechts). Bei dieser Operation wurde die Eröffnung und vollkommene Ausräumung des rechten Vestibilum sowie des hinteren und lateralen Bogenganges ausgeführt. Alle Teile waren erkrankt, das Lumen mit Granulationen erfüllt, der Knochen missfarben. Gegenwärtiger Befund: Operationshöhle rechts noch etwas feucht, links regelrechter Befund. Flüstersprache links 7 m, rechts keine Perzeption. Weber nach links.

	Rechts	Mitte	Links
a)	**21,7** pCt.	35 pCt.	43,3 pCt.
b)	**16,7** „	28 „	55 „
c)	**19,2** „	31,6 „	49,2 „

Es wurden verlegt:

von der kranken Seite nach der Mitte	21,1	pCt.
nach der gesunden Seite	16,7	„
Es verblieben auf der kranken Seite	62,2	„

Auch in diesem Falle ist die Tendenz der Verlegung der Urteile aus der Medianebene nach der gesunden Seite und von dem kranken Ohr nach der gesunden vorhanden; jedoch ist der Unterschied gegen den vorhergehenden Fall sehr auffallend; vor allen Dingen steht die absolute einseitige Taubheit mit dem noch erhaltenen Lokalisationsvermögen in keinem Einklang. Auf die Frage, wonach der Kranke die Schallrichtung bestimme, antwortete er ohne jede Beeinflussung folgendes: „Ich beurteile die Schallrichtung nach einem unbestimmten Gefühl, das ich an den Kopf anschlagen merke, den Ton selbst höre ich nur in dem gesunden Ohr.“ Bei den mit Stimmgabeln vorgenommenen Versuchen erfolgte die Lokalisation nach demselben Prinzip, jedoch waren hier die Urteile entschieden sicherer. Im Fall 1 konnte ich auf meine Frage, wodurch die Lokalisation ermöglicht würde, keine Antwort erhalten. Sensitive[1]) Wahrnehmungen wurden jedoch von der Patientin durchaus geleugnet. Die Sensibilitätsprüfung des Kopfes ergab eine Herabsetzung der Empfindung für Berührungen auf der erkrankten Seite. Patientin besass ausserdem sehr volles, dichtes Haupthaar. Dass auch der Haarwuchs nicht ohne Einfluss auf die Lokalisationsfähigkeit ist, beweist auch ein von *Arnheim* (2) beobachteter Fall: Ein Student, der bei der ersten Lokalisationsprüfung langes Haar trug, erschien bei der zweiten kurz geschoren. Es ergab sich dabei eine Zunahme der richtigen Urteile um 100 pCt.

Aus diesen Beobachtungsresultaten geht sicherlich hervor, dass der Intensität nicht eine derartige Bedeutung beizumessen sei, wie es bisher im allgemeinen geschehen, dass vielmehr, wenigstens häufig, noch andere Faktoren in Frage kommen.

Hierfür sprechen auch meine weiteren Beobachtungen an zwei zur Zeit dieser Untersuchung gerade in meiner Behandlung befindlichen Patienten, bei denen es sich um akute Erkrankungen des Mittelohres handelte.

Fall 1 (Pm.). Links Tubenkatarrh. Linkes Trommelfell eingezogen, am oberen Rand injiziert; kleiner, aber scharfer Reflex.

[1]) Unter dem Ausdruck „sensitiv“ seien hier wie im folgenden im Anschluss an die noch zu erwähnende Arbeit von *Urbantschitsch* gewisse nicht akustische sensible Empfindungen verstanden, die auf die Schallokalisation Einfluss haben dürften.

Rechtes Trommelfell regelrecht. Flüstersprache links 1 m, rechts 7 m. Weber nicht lateralisiert. Auf dem erkrankten Ohr Herabsetzung für alle Töne durch Luftleitung.

Lokalisationsprüfung am 12. XII. 1907:

Rechts	Mitte	Links
40,4 pCt.	58,8 pCt.	**0,4** pCt.

Lokalisationsprüfung am 13. XII. 1907:

Rechts	Mitte	Links
60,5 pCt.	39 pCt.	**0** pCt.

Flüstersprache links 1 m.

Lokalisationsprüfung am 14. XII. 1907:

Rechts	Mitte	Links
0 pCt.	98,7 pCt.	**1,3** pCt.

Flüstersprache links 7 m.

Gleichzeitig mit der am 14. XII. 1907 eingetretenen Rückkehr der normalen Hörfähigkeit stellte sich also auch eine dementsprechende Lokalisationsbesserung ein, während an den vorhergehenden Tagen eine deutliche Urteilsverlegung nach dem gesunden Ohr zu beobachten gewesen war. Patient schien einzig und allein nach der Intensität zu urteilen. Dem steht nun aber entgegen:

Fall 2 (Mü.). In diesem Falle handelte es sich um eine rechtsseitige exsudative (seröse) Mittelohrentzündung. Der Ohrbefund war folgender: Links normale Verhältnisse. Rechts: Im vorderen Quadranten Exsudatlinie, die nach dem hinteren Quadranten zu verschwimmt.

Hörfähigkeit links 7 m, rechts vor Kathetrisierung für Flüstersprache 1 m, nach Katheterisierung 6 m. Weber nach links.

Die Lokalisationsprüfung ergab[1]):

A. Vor Katheterisierung:

	Rechts	Mitte	Links
a)	**50** pCt.	50 pCt.	0 pCt.
b)	**33,3** „	66,6 „	0 „
c)	**41,5** „	58,3 „	0 „

B. Nach Katheterisierung:

	Rechts	Mitte	Links
a)	**55,3** pCt.	44,4 pCt.	0 pCt.
b)	**58,7** „	41,2 „	0 „
c)	**58,7** „	41,2 „	0 „

[1]) Wie oben, stehen auch hier wieder unter a) die bei vo, v, vu, unter b) die bei ho, h, hu und unter c) sämtliche für die Medianebene abgegebenen Urteile.

In diesem Falle erfolgte also die Richtungsbeurteilung nicht nach der Intensität, sondern gerade umgekehrt; der nicht in der Mitte verbleibende Rest wird nach dem kranken Ohr verlegt. Vergleicht man die Zahlen vor und nach Katheterisierung, so ist trotz der bedeutenden Steigerung der Hörfähigkeit sogar eine Abnahme der in der Mitte verbleibenden Urteile zu Gunsten des erkrankten Ohres zu verzeichnen. Eine Erklärung, weshalb in diesem Falle entgegen der Norm ein Umschlagen der Lokalisation sich einstellt, ist schwer zu geben, oder sollte hier vielleicht eine Reizung des N. acusticus vorgelegen haben, die zu einer Hypersensibilität gegenüber schrillen Schalleindrücken, wie es das cri-cri ist, geführt hätte?

Bei den folgenden Versuchen wurde absichtlich eine hochgradige einseitige Schwerhörigkeit bei Normalhörigen durch Einführen eines mit Wachs getränkten Wattebausches in den äusseren Gehörgang herbeigeführt. Die Ohrmuschel selbst blieb frei. In allen Fällen betrug die Hörweite auf der Seite des verstopften Ohres (bei zugehaltenem Ohre der anderen Seite) ziemlich konstant 0,75—1 m.

Die Prüfung wurde im übrigen in der sonst üblichen Form ausgeführt, allerdings nur mit Bestimmung der Medianlokalisation. Die fettgedruckten Zahlen der folgenden Tabelle bezeichnen das verschlossene Ohr.

	Rechts	Mitte	Links
Fall 1	0 pCt.	99,3 pCt.	**0,7** pCt.
„ 2	0,4 „	99,2 „	**0,4** „
„ 3	0 „	98,3 „	**1,7** „
„ 4	9 „	88,6 „	**2,3** „
„ 5	22,4 „	72,8 „	**3,9** „
„ 6	31 „	68,8 „	**0** „
„ 7	31,3 „	65,7 „	**3** „
„ 8	44,4 „	53,5 „	**2,1** „
„ 9	84,1 „	15,8 „	**0** „
„ 10	96,5 „	2,2 „	**1,3** „

Vergleicht man die einzelnen Fälle mit einander, so ist gleichmässig nur eine geringe Verlegung nach dem verschlossenen Ohre (Maximum Fall 5 mit 3,9 pCt.) zu verzeichnen. Was dagegen die Verlegungen aus der Medianebene nach dem gesunden Ohr anbelangt, so scheinen die verschiedenen Fälle zum Teil in starkem Gegensatz zu einander zu stehen. Denn während in den ersten 4 Fällen der grösste Teil in der Medianebene verbleibt und nur ein

verschwindend kleiner Teil nach dem offenen Ohr wandert, wird in den beiden letzten Fällen der grösste Prozentsatz nach dem offenen Ohr verlegt, und nur ein geringer Rest verbleibt in der Mitte. Die Fälle 6, 7, 8 bilden gewissermassen den Übergang zwischen den beiden Kategorien, neigen sich allerdings mehr der ersten als der zweiten zu.

Es handelt sich also offenbar um 2 Arten von Lokalisationsklassen, deren Unterschiede in der Urteilsabgabe nur durch die verschiedenen Kriterien, nach denen die Urteilsabgabe erfolgt, ihre Erklärung finden. Während ich selbst und ein Teil der Versuchspersonen beim Ertönen des cri-cri ein deutliches Gefühl empfand, genau als ob eine feine Berührung stattfände, wurde in den anderen Fällen ein ähnliches sensitives Moment vermisst; hier erfolgte die Urteilsabgabe lediglich nach der Intensitätsbestimmung. Bei einigen, wie bei Herrn Professor *Schaefer*, kommen auch noch andere Faktoren hinzu. „Ich habe," so sagt dieser, „den Eindruck, dass ich hauptsächlich nach der Tensorzuckung und ihrer Intensität urteile. Einmal bestand ein taktiles Gefühl, als ob der Schall genau median von hinten käme, die Tensorzuckung zwang aber trotzdem, nach hinten-rechts zu lokalisieren." Eine Einübung im Laufe der Versuche ist auszuschliessen, da sich bei Durchsicht der einzelnen Protokolle gegen Ende der Versuchsreihe keine wesentliche Steigerung der richtigen Urteile konstatieren lässt.

Um das eventuelle Auftreten sensitiver Empfindungen, die eine Schallokalisation erleichtern könnten, näher zu untersuchen, schaltete ich bei den nächsten Versuchen, die an denselben Personen und in sonst gleicher Weise wie in den Fällen 1—10 angestellt wurden, einen Aktendeckel aus Pappe zwischen Versuchsperson und Schallquelle ein. Die Resultate seien im folgenden in derselben Reihenfolge wie bei der vorigen Versuchsreihe aufgezählt:

	Rechts		Mitte		Links	
Fall 1	0	pCt.	97	pCt.	**3**	pCt.
„ 2	27,2	„	54,8	„	**17,9**	„
„ 3	18,4	„	75,4	„	**6,1**	„
„ 4	6,5	„	84,6	„	**8,8**	„
„ 5	39,4	„	49,1	„	**10,9**	„
„ 6	43	„	48,6	„	**7,7**	„
„ 7	13,2	„	82,9	„	**3,9**	„
„ 8	72,4	„	22,4	„	**3,9**	„
„ 9	65,1	„	33,3	„	**1,3**	„
„ 10	81,6	„	12,1	„	**6,4**	„

In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle — nur 7, 9 und 10 weichen hierin ab — ist eine Abnahme der Medianlokalisation ersichtlich, die fast ausschliesslich — nur nicht im Fall 1 und 4 — zu Gunsten des freien Ohres erfolgt. In Fall 9 ist dagegen trotz der Zunahme der Medianlokalisation gleichzeitig eine Steigerung der Prozentzahlen auf dem verschlossenen Ohr zu verzeichnen.

Allgemein wurde die Angabe gemacht, dass die Lokalisation jetzt wesentlich erschwert sei; von denjenigen Personen, die früher sensitive Empfindungen wahrgenommen hatten, wurden dieselben jetzt vermisst und hierauf die Erschwerung der Lokalisation zurückgeführt. Von den anderen, die dergleichen Empfindungen nicht verspürt hatten, liess sich ein Grund nicht ermitteln. Die Intensitätsabnahme des Schalles hierfür in Anspruch zu nehmen, ist jedenfalls falsch, da das Geräusch des cri-cri derartig laut ist, dass diese geringe Abschwächung, die ausserdem auf beiden Ohren gleichmässig erfolgt, nicht in Frage kommen kann. Es müssen also hier wohl unbewusste Reize eine Rolle gespielt haben, die diese Wirkung hervorbrachten.

Um neben dem cri-cri auch Schallquellen von variabler Tonhöhe und Stärke in Anwendung zu bringen, benutzte ich für die folgenden Experimente, die an neuen Versuchspersonen angestellt wurden, die Stimmgabeln der c-Reihe, und zwar c^3 (1024 v. d.), c^1 (256 v. d.), c^0 (128 v. d.) und C (64 v. d.), sämtlich belastet, um möglichst die Obertöne auszuschalten. Das linke Ohr der Versuchsperson wurde in jedem Fall mit Plastilin verstopft, die Prüfung erfolgte stets in der Medianebene.

Es ergab sich:

		Rechts	Mitte	Links
Fall 1	c^3	0 pCt.	100 pCt.	**0** pCt.
	c^1	7 „	79,8 „	**13,1** „
	c^0	7,9 „	87,7 „	**4,1** „
	C kann nicht mehr median lokalisiert werden.			
		Rechts	Mitte	Links
Fall 2	c^3	2,6 pCt.	96,5 pCt.	**0,8** pCt.
	c^1	0 „	98,2 „	**0,8** „
	c^0	0,8 „	94,7 „	**4,1** „
	C kann nicht mehr median lokalisiert werden.			
		Rechts	Mitte	Links
Fall 3	c^3	1,7 pCt.	95,6 pCt.	**2,6** pCt.
	c^1	1,7 „	97,4 „	**0,9** „
	c^0	0 „	100 „	**0** „
	C kann nicht mehr median lokalisiert werden.			

		Rechts	Mitte	Links
Fall 4	c^3	0 pCt.	100 pCt.	**0** pCt.
	c^1	0 „	100 „	**0** „
	c^0	0 „	92,9 „	**7** „

C kann nicht mehr median lokalisiert werden.

		Rechts	Mitte	Links
Fall 5	c^3	4,1 pCt.	73,6 pCt.	**21,9** pCt.
	c^1	0,9 „	79,8 „	**19,5** „
	c^0	0 „	88,6 „	**11,4** „

C kann nicht mehr median lokalisiert werden.

Ein wesentlicher Unterschied in der Lokalisationsfähigkeit bezüglich der Gabeln c^3, c^1 und c^0 ist anscheinend nicht vorhanden; denn sämtliche Gabeln wurden zum grössten Teil richtig als in der Medianebene gelegen erkannt. Nur die C-Gabel konnte allgemein nicht mehr median lokalisiert werden; dagegen wurde bei ihr noch Rechts und Links richtig unterschieden. Hiernach besteht also eine Abhängigkeit zwischen der Lokalisationsfähigkeit und der Tonhöhe und zwar in der Weise, dass die hohen und die mittleren Töne gleichmässig gut lokalisiert werden, während die in der Medianebene gelegenen tiefen überhaupt nicht mehr in ihrer Richtung bestimmt werden können.

Sensitive Erscheinungen wurden auch hier beobachtet, und zwar im allgemeinen in stärkerem Grade, wenn auch weniger scharf lokal begrenzt — je tiefer die Stimmgabel, desto diffuser die Ortswahrnehmung — als bei den Geräuschen (cri-cri); von einigen Personen wurden sie dagegen vollkommen vermisst. Durch Umlegen einiger Cambricbinden um den Kopf wurde die Lokalisation erschwert, jedoch nicht in dem Masse, dass dadurch die Resultate wesentlich beeinträchtigt wurden; die sensitiven Erscheinungen traten jetzt mehr in den Hintergrund, ohne jedoch vollkommen zu schwinden. Es ist daher vielleicht notwendig, stärkere Schichten zur Abblendung in Anwendung zu bringen, um eine vollkommene Aufhebung der sensitiven Erscheinungen herbeizuführen.

Von *Angell* und *Fite* (1), die analoge Versuche mit Telephonknacken als Schallquelle anstellten, wurden ähnliche Beobachtungen gemacht. Sie fanden nämlich nach losem Umlegen eines mit Ohrausschnitten versehenen Cameratuches um den Kopf eine wesentliche Änderung in der Zahl der richtigen Urteile; unter 318 Urteilen waren nur 109 richtig, sogar Links und Rechts wurden des öfteren mit einander verwechselt. Nach festem Umlegen des Tuches um den Kopf stiegen die richtigen Urteile auf 51 pCt. Trotz dieser der Norm gegenüber immer noch bemerkenswert

geringen Zahl kommen die beiden Autoren auffallender Weise zu der Ansicht, dass den sensitiven Erscheinungen bei der Schallokalisation nur eine untergeordnete Bedeutung zuzuschreiben sei.

Um die Abhängigkeit der Lokalisation von der Intensität noch spezieller zu prüfen, benutzte ich bei den folgenden Versuchen als Schallquelle das Telephonknacken. Ein 1 m langer *Dubois*scher Schlittenapparat in Verbindung mit einem Umschalter und einem Telephon ermöglichte, durch Veränderung des Rollenabstandes feinste Intensitätsunterschiede herzustellen.

Nachdem beide Ohren durch Einführen von Plastilin in den äusseren Gehörgang ausgefüllt waren — es sind in dieser Weise 5 Personen untersucht —, schwächte ich das Telephonknacken derartig, dass es ganz unhörbar wurde, also weder durch Knochen-, noch durch Luftleitung mehr zum Ohr gelangte. Wurden dann beide Ohren wieder geöffnet, also die Luftleitung, und nur diese wieder hergestellt, so konnte keine Medianlokalisation mehr erzielt werden, nur Rechts und Links wurde unterschieden. Erst wenn ich die Intensitätswerte soweit gesteigert hatte, dass die Hörweite auf 0,27—0,75 m stieg, wurde die Lokalisationsfähigkeit für mediane Schalleindrücke wieder in normaler Weise ermöglicht.

Hiernach liegt die Vermutung nahe, dass nur dann eine Medianlokalisation eintritt, wenn die Schallwellen ausser durch Luft- auch durch Knochenleitung übertragen werden. Ein experimenteller Beweis dieser Annahme wird sich allerdings leider kaum erreichen lassen, da sich zwar die Knochenleitung allein vollkommen ausschalten lässt, nicht aber die Luftleitung. Zu bedenken ist auch noch, dass bei so schwachem Schall, eben wegen seiner Schwäche, die sonst als Kriterium benutzten sensitiven Eindrücke in Fortfall kommen.

In einer weiteren Versuchsreihe stellte ich bei denselben Personen den Rollenabstand fest, in dem bei einerseits verschlossenem Ohr eine regelrechte Medianlokalisation noch möglich war, und prüfte dann, sowohl für das verschlossene wie für das offene Ohr, die Hörfähigkeit bei diesem Rollenabstande.

Es ergaben sich dabei folgende Zahlen:

	links (verstopft)	rechts
Fall 1	0,57 m	1,05 m
„ 2	0,49 „	0,94 „
„ 3	0,22 „	0,48 „
„ 4	0,16 „	0,31 „
„ 5	0,25 „	0,56 „

Aus vorstehender Tabelle ersieht man, dass eine Medianlokalisationsfähigkeit nur dann besteht, wenn sich die Entfernungen auf beiden Ohren ungefähr wie 1: 2 verhalten. Selbstverständlich gilt diese Zahl zunächst nur für die Tonhöhe des Telephonknackens, denn es ist wahrscheinlich, dass bei verschiedenen Tonhöhen diese Verhältniszahlen sich ändern werden, derart, dass bei steigender Tonhöhe der Bruch immer mehr sich dem Verhältnis 1: 1 nähert.

Auf Grund aller von mir angestellten Versuche und der sich daraus ergebenden Resultate habe ich die Überzeugung gewonnen, dass die Schallokalisation nicht durch ein eigens dazu bestimmtes Organ, wie die Ohrmuschel oder die Bogengänge, vermittelt wird; dass sie auch weder allein von der Intensität oder sensitiven Erscheinungen, noch von angeeigneter Erfahrung abhängt, sondern dass sie das Produkt mehrerer Faktoren ist, die durch Zusammenwirken oder gegenseitiges Vikariieren die Bestimmung der Schallrichtung herbeiführen. Die in Frage kommenden Faktoren setzen sich aus unmittelbaren und mittelbaren zusammen.

Die unmittelbaren sind:

1. Intensitätsabschätzung,
2. sensitive Empfindungen.

Die mittelbaren sind:

1. Ausführung von Kopfbewegung zwecks Ermittlung des Intensitätsmaximums,
2. Gesichtssinn,
3. Erfahrung.

Unter den unmittelbaren Faktoren ist von grosser Bedeutung bei binauraler Schallokalisation die Intensitätsabschätzung, die durch Vergleich der Intensitäten auf beiden Ohren die Ermittlung der Schallrichtung herbeiführt. Den Ort der Schallquelle durch die Intensitätsabschätzung zu bestimmen, wird aber nur dann ausführbar sein, wenn beide Ohren in einem oberhalb eines gewissen Schwellenwertes gelegenen Grade affiziert werden, wie die obigen Versuche mit sehr leisem Telephongeräusche bewiesen haben. Bei Sinken unter diesen Wert ist keine Median-, sondern nur noch eine R.-L.-Lokalisation möglich. Wenn nun in solchem Falle die Töne oder Geräusche so leise geworden sind, dass sie auf dem anderen Ohr weder durch Knochen-, noch durch Luftleitung vernommen werden können, ist die Lokalisation nach dem Prinzip der binauralen Intensitätsvergleichung nicht mehr erklärbar, des-

gleichen auch nicht bei einseitiger hochgradiger Schwerhörigkeit oder einseitiger voller Ertaubung. Wie jedoch die von mir angestellten Versuche ergaben, ist auch in diesen Fällen, wenn auch nicht mit der Sicherheit wie bei normaler Funktion beider Ohren, eine Lokalisation ermöglicht. Es müssen also hier noch andere Faktoren eine Rolle spielen, die kompensatorisch eintreten und gewiss auch als unbewusste Reize bei Normalhörigen zur Ermittlung der Schallrichtung dienen.

So besitzt die Kopfknochenleitung bei der Schallokalisation meines Erachtens einen bedeutend höheren Wert, als bisher angenommen. Daher werden auch die hohen und die mittleren Töne, bei denen die Knochenleitung erheblich bei der Übertragung der Schallwellen mitwirkt, besser lokalisiert als die tiefen, die zum Teil nicht mehr in ihrer Richtung erkannt werden können. Der Grund hierfür scheint mir eben nicht sowohl in ihrer verhältnismässig schwächeren Intensität, als vielmehr in der erheblich geringeren Leitungsfähigkeit der Kopfknochen für die tieferen Töne gegeben zu sein. Wenn es sich auch nicht mit absoluter Sicherheit beweisen lässt, dass Töne durch Luftleitung allein nicht lokalisiert werden können, so steht doch fest, dass ganz leise hohe Töne unverhältnismässig viel präziser lokalisiert werden, als ebenso laut erscheinende tiefe Töne. In der Praxis sind natürlich nicht so scharfe Grenzen zwischen hohen und tiefen Tönen zu ziehen, insofern fast alle Töne und Geräusche, die wir hören, von Obertönen begleitet sind, die auf diese Weise die Lokalisation unterstützen.

Was nun den zweiten unter den unmittelbaren Faktoren anbelangt, so rufen die auf den Schädel auftreffenden Schallwellen allem Anschein nach — bei verschiedenen Personen in verschiedenem Masse — sensitive Reize hervor. Diese Reize werden jedenfalls zur Tastsphäre des Gehirns hingeleitet, von wo aus sie in assoziative Verbindung mit dem Hörzentrum treten können. Aus welcher Richtung auch immer ein solcher sensitiver Reiz den Schädel treffen mag, in jedem Fall ist mit ihm ein bestimmtes Lokalzeichen verbunden, und dieses Lokalzeichen ermöglicht vermöge der individuellen Erfahrung ein Urteil über den Ort der Schallquelle im Raum, auch wenn derselbe auf andere Weise nicht sollte erschlossen werden können.

Der enge Zusammenhang zwischen den akustischen und den sie begleitenden sensitiven Reizen und deren teilweise sich einstellendes kompensatorisches Eintreten für einander wird besonders dargetan durch die von *Urbantschitsch* (44) an Taubstummen ge-

machten Untersuchungen. Er fand nämlich besonders im Bereich der Grenztöne, nahe der Hörgrenze oder bereits jenseits dieser, dass einmal eine akustische, das andere Mal eine sensitive Empfindung auftrat. Bei einem hochgradig schwerhörigen Mädchen, das die verschiedenen Vogelstimmen nicht hörte, wurden zunächst keine Empfindungen ausgelöst; bei weiter fortgesetzter Übung traten zunächst sensitive Empfindungen auf, die nach und nach an Intensität zunahmen, bis schwache akustische Empfindungen sich einstellten, die bei weiteren Übungen stärker wurden. Ebenso riefen auch bei einer hochgradig Schwerhörigen verschiedene ins Ohr gerufene Vokale eine sensitive Empfindung hervor, einem jeden Vokal wurde dabei eine bestimmte Stelle im Ohr oder Kopf zugeteilt, sodass aus der Lokalisation der sensitiven Empfindungen ohne Hörempfindung der Vokal richtig bestimmt wurde. Bei einer ertaubten Frau stellte sich bei lautem Sprechen, Klavierspielen oder irgend einer starken Schalleinwirkung heftiger Stirnkopfschmerz ein, ohne dass eine Gehörsempfindung stattfand; nur aus dem allmählich sich steigernden Stirnkopfschmerz wurde bei Schalleinwirkungen obiger Art nach kurzer Zeit das Vorhandensein einer derartigen Schallquelle erschlossen.

Auch der entwicklungsgeschichtliche Standpunkt des Gehörorgans rechtfertigt die Annahme der nahen Verwandtschaft zwischen den sensitiven und akustischen Reizen. So sagt *Hartmann* (13): „Longitudinale Wellenbewegung der Aussenwelt und durch biologische Orientierungsbewegungen am eigenen Körper erzeugte sind also die reizerzeugenden Vorgänge, die erst durch den allgemeinen Tastsinn in höherer Differenzierung für bestimmte Wellenlängen durch den Gehörapparat zur Perzeption gelangen.“ Im Laufe der Entwicklung hat sich eben bei der fortschreitenden Differenzierung der Tastoberfläche das Gehörorgan aus der allgemeinen Tastoberfläche heraus entwickelt.

Unter den unmittelbaren Faktoren sind zunächst die vom Hörer häufig und in der Regel unbewusst ausgeführten Kopfbewegungen zu nennen, durch die der Gehörgang in das Intensitätsmaximum eingestellt wird, ferner der Gesichtssinn, der uns am schnellsten und genauesten über die Lage der Schallquelle orientiert, weshalb er denn auch in allen irgendwie zweifelhaften Fällen zur Entscheidung herangezogen zu werden pflegt. Eine wie wichtige Rolle auch die Erfahrung bei der Schallokalisation spielt, beweist unter vielen anderen Angaben die folgende, besonders prägnante, von *v. Bezold* an sich selbst gemachte Beobachtung. *Bezold* (4) litt lange

Zeit hindurch infolge eines Ceruminalpfropfes an hochgradiger Schwerhörigkeit. Nach Entfernung desselben machten sich eigenartige Urteilstäuschungen in der Schallrichtung bemerkbar, indem die Schallquelle meistens nach dem früher besser hörenden Ohre verlegt wurde. Erst nach Verlauf von 6 Wochen stellte sich normales Lokalisationsvermögen für Schalleindrücke wieder ein.

Für diejenigen Fälle, bei denen die Schallokalisation ganz oder so gut wie ganz von der Wahrnehmung der Intensitätsunterschiede rechts und links abhängt, ist es am Platze, noch auf eine Betrachtung hinzuweisen, die *Stumpf* (40) im 2. Bande seiner Tonpsychologie § 17 angestellt hat und die, wie mir scheint, bei den bisherigen Untersuchungen über Schallokalisation seitens der Autoren nicht die genügende Würdigung gefunden hat. *Stumpf* hebt nämlich, und zweifellos mit Recht hervor, dass die Wahrnehmung des Unterschiedes in der Stärke der Erregung beider Ohren an sich noch nicht für die Lokalisation ausreiche. Es frage sich noch, woran wir erkennen, ob das stärker gereizte Ohr das rechte oder das linke ist. Ganz entsprechend dem, was man beim Raumsinn des Auges und der Haut als Lokalzeichen zu benennen pflegt, postuliert *Stumpf* eine, jede Gehörsempfindung begleitende, rechts und links qualitativ verschiedene, auf das Räumliche sich beziehende Wahrnehmung, die uns die Entscheidung ermöglicht, ob ein Gehörreiz, oder der stärkere von zwei gleichzeitigen Gehörreizen den rechten oder den linken Acusticus affiziert.

Am Schluss dieser Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Geheimrat Professor Dr. *Passow* für die Anregung zu dieser Arbeit und die Überlassung des Materials, Herrn Professor Dr. *Schaefer* für die aller Zeit während der Ausführung mir gütigst geleistete Unterstützung meinen verbindlichsten Dank abzustatten.

Literaturverzeichnis.

1. *Angell* und *Fite*, The monautal localisation of Sound. The Psychological Review. Vol. VIII. 1901. p. 225, 499.
2. *Arnheim*, Beiträge zur Lokalisation von Schallempfindungen mittels der Bogengänge. In.-Diss. Jena 1887.
3. *Bernstein*, Die fünf Sinne des Menschen. Serie III. S. 169. Leipzig 1875.
4. *v. Bezold*, Urteilstäuschungen nach Beseitigung einseitiger Harthörigkeit. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinne. Bd. 1. S. 486. 1890.
5. *Bloch*, Das binaurale Hören. Zeitschr. f. Ohrenheilk. Bd. XXIV. S. 25. 1893.
6. *Buchanan*, Über den Einfluss, welchen die Gestalt und der Anheftungswinkel des äusseren Ohres auf die Stärke des Gehörs hat. Meckels Arch. f. Anat. u. Phys. S. 488. 1828.

7. *Burnett*, Das äussere Ohr, das Komplement eines Schallsammlers und Resonators. Referat aus Arch. f. Ohrenheilk. Bd. IX. S. 127. 1875.
8. *Chladni*, Die Akustik. S. 296. Leipzig 1802.
9. *Esser*, Memoire sur les fonctions des diverses parties de l'organe auditif. Annales des sciences naturelles. Tome XXVI. p. 1. 1832.
10. *Geigel*, Die Bedeutung der Ohrmuschel beim Hören. Münch. med. Wochenschr. Bd. LIV. S. 1478. 1907.
11. *Gradenigo*, Sur la fonction du pavillon de l'oreille chez l'homme. Archives internationales de Laryngologie 1904. (Sonderabdruck.)
12. *Harless*, Artikel „Hören" in Wagners Handbuch der Physiologie. Bd. IV. Braunschweig 1853.
13. *Hartmann*, Die Orientierung. S. 35 und 100. Leipzig 1902.
14. *Kessel*, Funktion der Ohrmuschel bei den Raumwahrnehmungen. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. XVIII. S. 120. 1882.
15. *v. Kries*, Über das Erkennen der Schallrichtung. Zeitschrift für Psych. u. Phys. der Sinnesorgane. Bd. I. S. 235. 1890.
16. *v. Kries* und *Auerbach*, Die Zeitdauer einfachster psychologischer Vorgänge. Arch. f. Anat. u. Phys. Jahrg. 1877. S. 329.
17. *Küpper*, Über die Bedeutung der Ohrmuschel. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. VIII. S. 158. 1874.
18. *Luzzati*, Sulla percezione della direzione dei suoni. Giornale d. R. Accademia d. Med. di Torino. Bd. XLV.
19. *Mach*, Bemerkungen über den Raumsinn des Ohres. Poggendorffs Annalen. Bd. CXXVI. S. 331. 1865.
20. Derselbe, Bemerkungen über die Funktion der Ohrmuschel. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. IX. S. 72. 1875.
21. *Matsumoto*, Researches on acoustic space. Studies from the Yale Psychological Laboratory. Vol. V. p. 1. 1897.
22. *Müller, Joh.*, Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. II. Koblenz 1840.
23. *Münsterberg*, Raumsinn des Ohres. Beiträge zur experimentellen Psychologie. H. 2. S. 182. Freiburg 1889.
24. *Münsterberg* und *Pierre*, Psychological Review. Vol. I. p. 461.
25. *Meyers* und *Wilson*, On the perception of the direction of sound. Proceedings of the Royal Society A. Vol. LXXX. p. 260. 1908.
26. *Politzer*, Studien über Paracusis loci. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. XI. S. 231. 1876.
27. *Preyer*, Die Wahrnehmung der Schallrichtung mittelst der Bogengänge. Pflügers Arch. Bd. XL. S. 586. 1887.
28. *Rayleigh*, Acoustical observations. Philosophical Magazine. V. Ser. Vol. III. p. 456. 1877.
29. Derselbe, Acoustical observations. Philosophical Magazine. V. Ser. Vol. XIII. p. 343. 1882.
30. Derselbe, On our perception of sound direction. Philosophical Magazine VI. Ser. Vol. XIII. p. 214. 1907.
31. *Rinne*, Beitrag zur Physiologie des menschlichen Ohres. Zeitschr. f. rationelle Med. 3. Reihe. Bd. XXIV. S. 12. 1865.
32. *Rogdestwensky*, Über Lokalisation von Gehörsempfindungen. In.-Diss. Petersburg 1887. Referat aus Centralbl. f. Phys. Bd. I. S. 721. 1887.

33. *Schaefer*, „Der Gehörsinn“ in Nagels Handbuch der Physiologie. Bd. III. Braunschweig 1905.
34. Derselbe, Über die Wahrnehmung und Lokalisation von Schwebungen und Differenztönen. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinnesorgane. Bd. I. S. 81. 1890.
35. *Schmiedekam*, Experimentelle Studien zur Physiologie des Gehörorganes. Inaug.-Diss. Kiel 1868.
36. *Schneider*, Die Ohrmuschel und ihre Bedeutung. In.-Diss. Marburg 1855.
37. *Scripture*, On binaural space. Studies from the Yale Psychological Laboratory. Vol. V. p. 76. 1897.
38. *Seashore*, The localisation of sound. Middeltonian, Dezember 1903.
39. *Steinhauser*, Die Theorie des binauralen Hörens. Ein Beitrag zur Lehre vom Schalle. Wien 1877.
40. *Stumpf*, Tonpsychologie. 2. Bd. Leipzig 1883 u. 1890.
41. *Tarchanow*, Das Telephon als Anzeiger der Nerven und Muskelströme beim Menschen und den Tieren. St. Petersburger med. Wochenschr. No. 43. 1878.
42. *Thompson, S. P.*, On the function of the two ears in the perception of Space. Philosophical Magazine V. Ser. Vol. XIII. p. 406. 1882.
43. *Toyenbee*, Die Krankheiten des Gehörorgans, ihre Natur, Diagnose und Behandlung. Würzburg 1863.
44. *Urbantschitsch*, Die Lokalisation der Tonempfindungen. Pflügers Arch. Bd. CI. S. 154. 1904.
45. *Weber*, Über den Mechanismus des Gehörorgans. Berichte der Kgl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Math.-Phys. Kl. Jahrgang 1851. S. 29.

Thesen.

I.

Die Ohrmuschel ist ein für den Hörakt unbedeutendes Organ.

II.

Bei der Behandlung der Kehlkopfdiphtherie ist die Intubation der Tracheotomie vorzuziehen.

III.

Das Pavillonsystem der Krankenhäuser ist dem Korridorsystem bei weitem überlegen.

Lebenslauf.

Verfasser vorliegender Arbeit, *Kurt Münnich*, evangelischer Konfession, wurde am 24. V. 1880 als Sohn des Generalarztes Dr. *Johannes Münnich* und seiner Ehefrau Marie, geb. Vogler, zu Berlin geboren. Seine wissenschaftliche Ausbildung erhielt er auf dem Askanischen Gymnasium zu Berlin in den Jahren Michaelis 1889 bis Michaelis 1899. Michaelis 1899 wurde er bei der Kaiser-Wilhelms-Akademie für das militärärztliche Bildungswesen immatrikuliert. Seiner Dienstpflicht mit der Waffe genügte er vom 1. IV. 1900 bis 30. IX. 1900 beim Garde - Füsilier - Regiment zu Berlin. Die ärztliche Vorprüfung bestand er am 24. VII. 1901. Am 15. II. 1904 wurde er zum Unterarzt im Grenadier - Regiment König Friedrich Wilhelm IV (1. Pommersches) No. 2 ernannt und gleichzeitig zum Königl. Charité-Krankenhaus in Berlin kommandiert, woselbst er vom 15. II. 1904 bis 15. II. 1905 das praktische Jahr ablegte. Das medizinsche Staatsexamen bestand er am 21. VII. 1905.

Während seiner medizinischen Studienzeit besuchte er die Vorlesungen, Kliniken und Kurse der Herren *v. Bergmann* (†), *Brieger*, *Engelmann*, *Engler*, *Ewald*, *Fischer*, *B. Fränkel*, *Frey*, *Goldscheider*, *Grawitz*, *Gusserow* (†), *Hertwig*, *Heubner*, *Hiller*, *Israel* (†), *Jolly* (†), *R. Köhler*, *Fr. König*, *R. König* (†), *Köppen*, *Kraus*, *Lesser*, *Lexer*, *v. Leyden*, *Liebreich* (†), *v. Michel*, *Nagel*, *Olshausen*, *Passow*, *Rubner*, *Salkowski*, *F. E. Schulze*, *Schwendener*, *Sonnenburg*, *Strassmann*, *Stumpf*, *Thierfelder*, *H. Virchow*, *R. Virchow* (†), *Waldeyer*, *Warburg*, *Westenhoeffer*.

Allen diesen seinen hochverehrten Lehrern spricht Verfasser seinen ehrerbietigsten Dank aus.